

## ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДНІМАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ

Кириченко І. Г.<sup>1</sup>, Черніков О. В.<sup>1</sup>, Роговий А. С.<sup>2</sup>, Рагулін В. М.<sup>1</sup>,  
Рєзніков О. О.<sup>1</sup>, Табуrow О. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Анотація.** Робота є продовженням попередніх спільних досліджень кафедр будівельних і дорожніх машин, інженерної та комп'ютерної графіки й теоретичної механіки та гідравліки з використанням методів комп'ютерного моделювання у машинобудівній галузі. Метою роботи є розробка цифрової моделі обладнання піднімальної платформи у середовищі Autodesk Inventor для виконання досліджень кінематики та режимів роботи за заданих умов експлуатації, а також оцінка питань міцності конструкції за допомогою програми ANSYS.

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, піднімальна платформа, Autodesk Inventor, ANSYS.

### Вступ

Економіка висуває високі вимоги до конкурентоспроможності, якості, надійності, технічного рівня сучасної продукції, зокрема будівельних і дорожніх машин. Спектр задач, виконуваних у дорожньому будівництві, обумовлює необхідність виготовлення високоефективних та надійних модульних машин, які здійснюють різноманітні технологічні операції. Це приводить, з одного боку, до значного підвищення матеріальних і трудових витрат на стадіях проектування, з іншого – вимагає скорочувати час проектування та точно визначати необхідні технічні характеристики та режими роботи.

Розв'язання поставленої задачі є неможливим без використання спеціалізованих пакетів 3D-моделювання; було прийнято рішення обрати програму Autodesk Inventor (AI).

Дана робота присвячена питанням моделювання мобільного підйомника з робочою платформою (МПП) – це невід'ємна частина модельного ряду кранової спецтехніки [1, 2]. На цей час використовують багато різновидностей підйомників, які відрізняються за висотними характеристиками та конструкцією піднімального механізму. У зв'язку з великою кількістю різновидів конструкцій не обійтись без їх досліджень на кожному з етапів проектування. За прототип було обрано механізм, що є в розпорядженні кафедри БДМ.

### Аналіз публікацій

Досліджуючи джерела, можна зробити висновки, що останнім часом випускаються підйомники, що відрізняються великою різ-

номанітністю конструктивного виконання робочого обладнання; при цьому збільшуються їх основні параметри: висота підйому, виліт і вантажопідйомність [3, 4].

Згідно із проведеними раніше дослідженнями встановлено, що для оцінки ефективності використання будівельної техніки може бути застосована відповідна система показників [5–7], серед яких основними є: продуктивність; питома продуктивність, питома металоемність (матеріалоемність), питома енергоемність, показники оцінки енергоматеріалоемності. Крім перерахованих показників, для підйомника важлива оцінка його стійкості проти перекидання, оскільки зі збільшенням висоти підйому і вильоту стрілового обладнання стійкість зменшується, що знижує ефективність застосування зазначеної техніки.

Більшість робіт у напрямку дослідження дорожньо-будівельної техніки спрямовано на впровадження комп'ютерного моделювання як сучасного інструменту зменшення часових та фінансових витрат та підвищення рівня рішень, що приймаються [8–13].

Для забезпечення високих показників ефективності роботи механізму необхідно більш детально вивчити технічні можливості пристрою під час виконання технологічних операцій.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є розробка 3D-моделі МПП та визначення її адекватності за параметрами кінематики, стійкості й міцності, а також проведення експериментів на віртуальній моделі, створеній за допомогою програмного пакета AI.

### Моделювання гідравлічного підйомника та дослідження його кінематики

Базуючись на представлений на навчальному полігоні ХНАДУ установці гідравлічного підйомника (рис. 1, а, б), було розроблено його комп'ютерну модель (рис. 2, а, б) з урахуванням кінематичних та фізичних характеристик об'єкта.



а

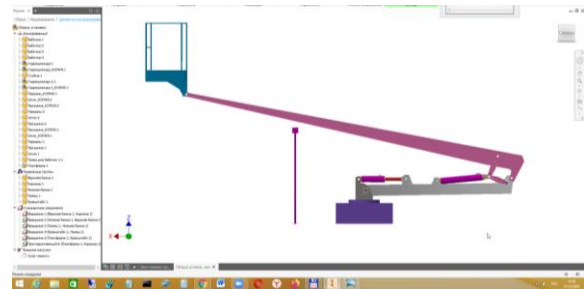


б

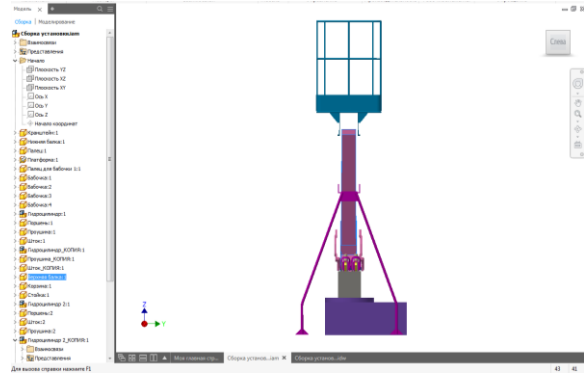
Рис. 1. Вид збоку (а) та спереду (б) МПРП

Для дослідження кінематики окремих вузлів та установки в цілому були створені їх моделі, складені в єдиний механізм із заданням усіх можливих рухів елементів конструкції. Вирішити поставлені завдання дозволили спеціальні інструменти проєктування, включені у програмний продукт, а також середовище для динамічного моделювання та аналізу напружень. Доступ до цих інструментів здійснюється під час роботи в середовищі «Assemble», за допомогою вкладок на стрічці «Design» та «Environments» (рис. 3).

Слід відмітити, що для подальшого використання створених моделей деталей в розрахункових програмах, основаних на методі скінченних елементів, необхідно заздалегідь вирішити, які елементи конструкції слід спрощувати, – це можливо за допомогою керування властивостями кожної 3D-операції.



а



б

Рис. 2. Вид збоку (а) та спереду (б) тривимірної моделі МПРП



Рис. 3. Вкладка «Environments»

Для готового складання можливе накладення зв'язків, як у середовищі «Assemble», так і в середовищі «Dynamic Simulation» (в останньому випадку задані з'єднання не поширюються на вихідну модель (рис. 4)).

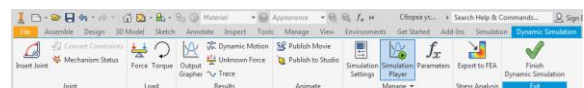


Рис. 4. Вкладка «Dynamic Simulation»

Для керування рухом механізму за основний параметр обрано швидкість висування штоків гідроциліндрів. У випадку задання швидкості їх руху було досліджено кінематику роботи всього підйомника та проаналізовано траєкторії переміщення заданих точок (для спрощення аналізу деякі елементи конструкції були сховані, див. рис. 5).

Також дана модель дає можливість визначати швидкість/прискорення руху обраних точок за допомогою спеціального інструменту «Пристрій графічного виведення».

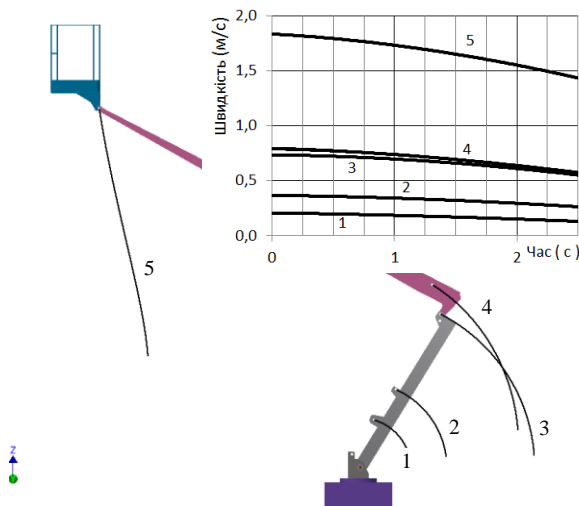


Рис. 5. Кінематичні дослідження механізму підйомника

### Особливості підготовки моделі до розрахунків на міцність

Розрахунок деталей механізму підйомника досліджено за допомогою методу скінченних елементів та визначено місця конструкції, що зазнають найбільших напруг. Розрахунки на міцність дозволяють визначити раціональну товщину металу, покращити показники металоємності та надійності конструкції. Розрахунки виконано з використанням програмного комплексу Ansys, модуль Static Structural [14].

В наш час метод скінченних елементів набув широкого розповсюдження під час вирішення задач інженерного аналізу, за рахунок того, що дозволяє повністю автоматизувати розрахунок механічних систем із використанням CAD/CAM/CAE систем.

Метод скінченних елементів потребує виконання певного алгоритму розрахунку [15]:

- 1) Створення твердотільної моделі об'єкта, що досліджується;
- 2) Створення сіткового розбиття моделі на скінченні елементи;
- 3) Задання початкових та граничних умов;
- 4) Виконання розрахунку;
- 5) Аналіз результатів розрахунку.

Програмний комплекс дозволяє використовувати твердотільні тривимірні моделі, що створені в будь-яких програмах 3D-моделювання, в нашому випадку – AI, і створювати в автоматичному режимі сіткове розбиття моделі [16]. На рис. 6 наведено імпортовану з AI в Ansys тривимірну модель та створену на її основі сіткову модель деталей підйомника.

Якість сіткового розбиття може бути перевірена за допомогою вбудованих у модуль Ansys Static Structural інструментів перевірки якості та за загальним інтегральним показником загальної якості побудови скінченного елемента Element Quality. Критерій загальної якості повинен бути більшим за 0,1, що дозволяє досягти більш якісних результатів розрахунку та уникнення помилок в елементах із низькою якістю, якщо в них є значні градієнти напруг або деформацій [15, 17].

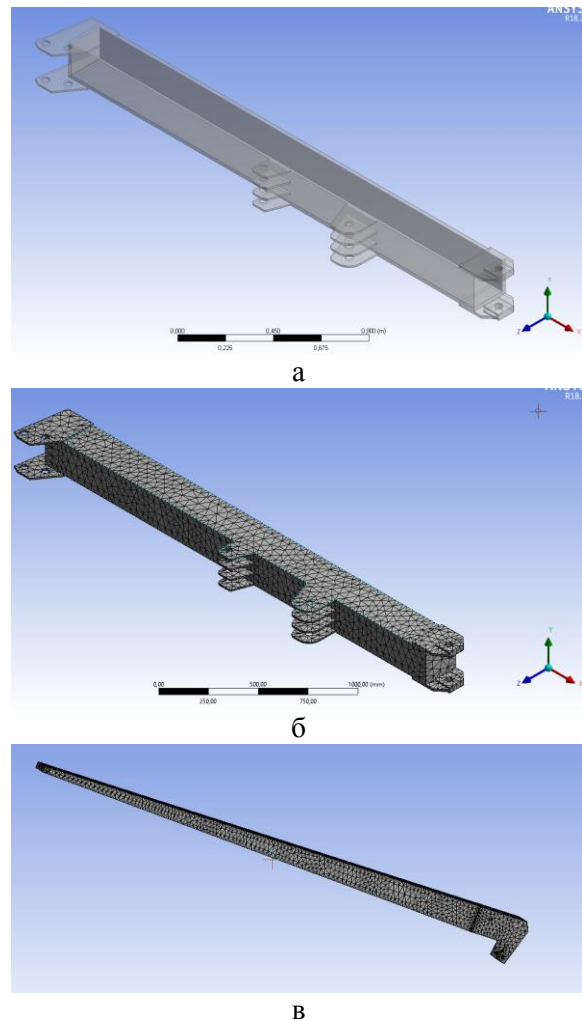


Рис. 6. Тривимірна (а) та сіткові моделі (б, в) для проведення розрахунку на міцність

Крім того, якість розрахунку перевіряється шляхом побудови графіка максимальних напруг від кількості скінченних елементів. Кількість скінченних елементів вважається достатньою, якщо графік виглядає як крива, що прагне до певної асимптоти, яка відповідає певним напругам. Тобто перевіряється незалежність результатів розрахунку від кількості скінченних елементів моделі.

В якості граничних та початкових умов розрахунку повинні бути задані сили на поверхнях кріплення вантажу та шарнірні опори – на поверхнях з'єднання з гідроциліндрами.

Загальний вигляд результатів розрахунку наведено на рис. 7.

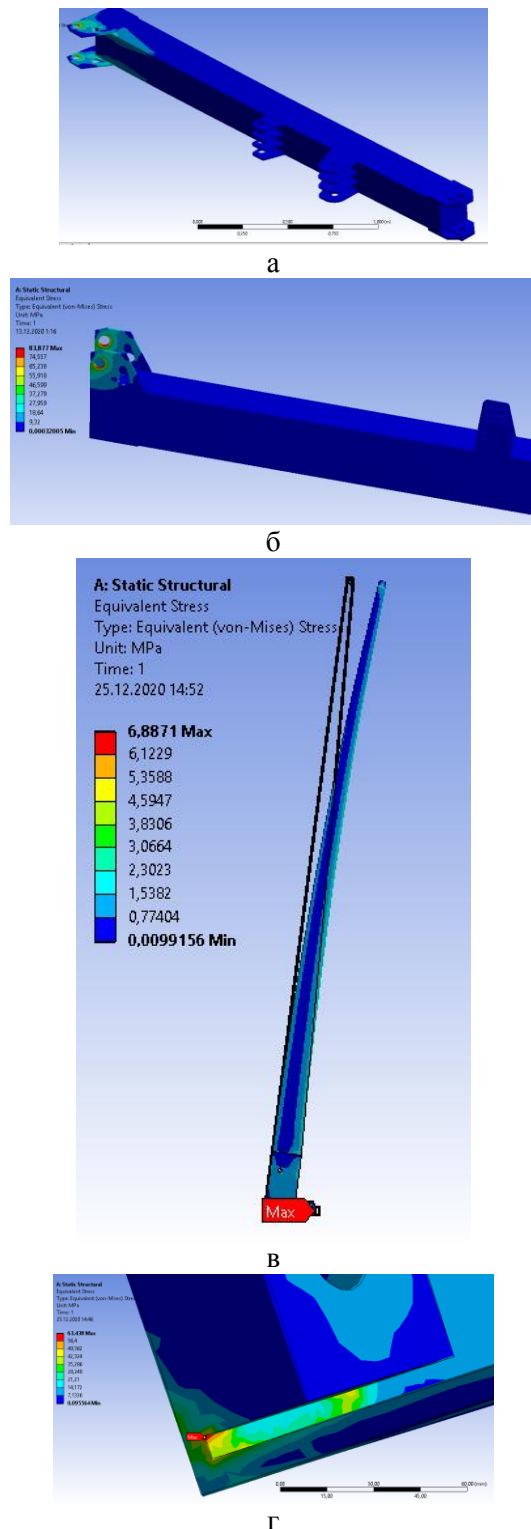


Рис. 7. Результати визначення еквівалентних напруг за Мізесом елементів підйомника

Розрахунки, проведені за різного кута нахилу стріли, дозволяють проаналізувати найбільш складні умови роботи підйомника, визначити максимальні напружки та зробити висновки щодо збільшення або зменшення товщини металу та можливої зміни конструкції опор.

### Висновки

Розглянута методика віртуального тривимірного моделювання дозволяє з високою точністю і малими витратами часу виконувати дослідження кінематичних особливостей руху і визначати його характер при інтерактивно змінюваних геометричних параметрах і фізичних властивостях деталей. Зазначена методика дозволила дослідити кінематику роботи підйомника, яка дозволяє оптимізувати конструкцію з урахуванням змін при виявленні у процесі моделювання.

### Література

1. Кириченко І.Г., Аврунін Г.А., Самородов В.Б., Ярижко О.В. Об'ємний гідропривід у мобільних підйомниках з робочими платформами: монографія. Харків: ХНАДУ, 2018. 295 с.
2. Кириченко І.Г., Резніков О.О., Рукавишніков Ю.В., Книщенко А.О. Аналіз рівня технічного розвитку мобільних підйомників із робочими платформами // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук. пр., Харків, 2021. Вип. 92, т. 1. С. 149–153.
3. Протасов, Н. Автогидроподъемники – спецтехника широкого профиля // Основные средства. 2017. № 6. С. 2–5.
4. Строительные и коммунальные автоподъемники. ОАО «Пожтехника». Торжок : 2018. URL: <http://www.pozhtekhnika.ru/comm.php>.
5. Луцько, Т. В. Аналіз ефективності використання додаткової стріли в підйомнику гідравлическом ПГ"22.11 // Механізація будівництва. 2015. № 3. С. 30–32.
6. Хмара, Л. А. Оценки эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора // Строительство, материаловедение, машиностроение. 2002. Вып. 15.4.2. С. 143–150.
7. Хмара, Л. А., Дахно О. А. Телескопическое рабочее оборудование гидравлического экскаватора и оценка его эффективности // Строительные и дорожные машины. 2013. № 11. С. 8–11.
8. Кириченко И.Г. Особенности компьютерного моделирования операций функционально-технологического анализа // Строительство, материаловедение, машиностроение; сб. научн. трудов, Днепропетровск : ПГАСА, 2010. Вып. 57. С. 19–21.

9. Кириченко І.Г., Черніков О.В., Рагулін В.М., Дзюба В.В., Васильченко А.Ю. Перспективи та можливості проведення комп'ютерних експериментів при моделюванні об'єктів будівельно-дорожньої техніки // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Секція: Інформаційні системи та технології на виробництві та в освіті (Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених), 25 листопада 2020 КІТ-2020, Харків, ХНАДУ. С. 6–8.
10. Черніков О.В., Москаленко А.І., Оболенський О.С. Дослідження руху фронтального навантажувача в пакеті Autodesk Inventor // Прикл. геометрія та інж. графіка. К. : КНУБА, 2012. Вип. 89. С. 382–386.
11. Рагулін В. М. Комп'ютерне моделювання при аналізі механізму підвіски тягової рами автогрейдерів // Сучасні проблеми моделювання : зб. наук. праць. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2018. Вип. 13. С. 154–162.
12. Рагулін В.М., Мешалкіна Т.С., Палій М.Р. Аналіз модернізованої підвіски робочого обладнання автогрейдера з використанням комп'ютерного моделювання // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 94. Київ, 2018. С. 95–99.
13. Шевченко В. О., Рагулін В. М., Ходирев С.Я. Дослідження навантаження модернізованого механізму підвіски тягової рами автогрейдера сімейства ДЗк-250// Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2019. Вып. 87. С. 18–23.
14. Zienkiewicz, Olek C., Robert L. Taylor, and Jian Z. Zhu. The finite element method: its basis and fundamentals. Elsevier, 2005.
15. Роговий А.С. Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 112 с.
16. Rogovyi A., Korohodskiy V., Medvediev Y. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy, 2021. Vol. 218, pp. 119–432.
17. Chernetskaya-Beletskaya N., Rogovyi A., Baranov I., Krut A., Miroshnikova M., Bragin N. Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 294, p. 01009.
1. Kirichenko I.G., Avrunin G.A., Samorodov V.B., Yaryzhko A.V.. Ob'yomny'j gidroprivod v mobil'ny'kh pod'yomnikakh s rabochimi platformami: monografiya Khar'kov: KhNADU, 2018. 295 s. [in Russian].
2. Kyrychenko I. H., Rieznikov O. O., Rukavyshnikov Yu. V., Knyshenko A. O. Analiz rivnia tekhnichnoho rozvytku mobilnykh pidiomnykiv iz robochymy platformy // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu : zb. nauk. pr., Kharkiv, 2021. Vyp. 92, t. 1. S. 149–153 [in Ukraine].
3. Protasov, N. Avtogradopod'emniki – spetstechnika shirokogo profilya // Osnovnyie sredstva. 2017. # 6. S 2–5 [in Russian].
4. Stroitelnyie i kommunalnyie avtopod'emniki // OAO «Pozhtehnika». Torzhok : 2018. URL: <http://www.pozhtehnika.ru/comm.php>. [in Russian].
5. Lutsko, T. V. Analiz effektivnosti primeneniya dopolnitelnoy strelyi v pod'emnike gidravlicheskom PG"22.11 // Mehanizatsiya stroitelstva. 2015. # 3. S 30–32. [in Russian].
6. Hmara, L. A. Otsenka effektivnosti teleskopicheskogo rabocheho oborudovaniya odnokovshovogo gidravlicheskogo ekskavatora / Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. 2002. Vyp. 15.4.2. S 143–150. [in Russian].
7. Hmara, L. A., Dahno O. A. Teleskopicheskoe rabochee oborudovanie gidravlicheskogo ekskavatora i otsenka ego effektivnosti // Stroitelnyie i dorozhnyie mashiny. 2013. #11. S 8–11. [in Russian].
8. Kirichenko I.G. Osobennosti komp'yuternogo modelirovaniia operatsii funktsional'no-tekhnologicheskogo analiza [Features of computer simulation of functional technological analysis operations] Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. trudov [Construction, materials science, engineering: collection of sci. papers], Dnepropetrovsk, PGASA, 2010, vyp. 57. S 19–21. [in Russian].
9. Kyrychenko I.H., Chernikov O.V., Rahulin V.M., Dziuba V.V., Vasylichenko A.Iu. Perspektyvy ta mozhlyvosti provedennia kompiuternykh eksperymentiv pry modeliuvanni obektiv budivelno-dorozhnoi tekhniki // Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv na transporti ta u vyrobnytstvi. Sektsiia: Informatsiini systemy ta tekhnolohii na vyrobnytstvi ta v osviti (Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchennykh), 25 lystopada 2020 KIT-2020, Kharkiv, KhNADU, S. 6–8 [in Ukraine].
10. Chernikov, O.V., Moskalenko A.I., Obolenskiy O.S. Doslidzhennya ruhu frontalnogo navantazhuvacha v paketI Autodesk // Prikl. geometriya ta Inzh. grafika. K. : KNUBA, 2012. Vip. 89. S 382–386. [in Ukraine].
11. Ragulin V. M. Komp'yuterne modelyuvannya pri analizi mehanizmu pidviski tyagovoyi rami avtogreyderiv // Suchasni problemi modelyuvannya : zb. nauk. prats. Melitopol : MDPU Im. B. Hmel'nitskogo, 2018. Vip. 13. S 154–162. [in Ukraine].
12. Ragulin V.M., Meshalkina T.S., Palii M.R. Analiz modernizovanoi pidviski robochoho obladnannya avtogreidera z vikoristannyam komp'yuternogo modelyuvannya [Analysis road graders modernized suspension of working equipment with help of computer modeling] //

## References

- Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Mizhvidomchii naukovu-tekhnichnii zbirnik. Vipusk 94. Kiïv, 2018. S 95–99 [in Ukraine].
13. Shevchenko V. O., Ragulin V. M., Hodirev S. Ya. Doslidzhennya navantazhennya modernizovanogo mehanizmu pidviski tyagovoyi rami avtogreydera simeystva DZk-250 // Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta. 2019. Vyp. 87. S 18–23. [in Ukraine].
  14. Zienkiewicz, Olek C., Robert L. Taylor, and Jian Z. Zhu. The finite element method: its basis and fundamentals. Elsevier, 2005. [in English].
  15. Rogovyi A.S. Vykorystannya metodiv chyslovoho vyryshennya zadach inzhenernoho analizu [Use of numerical modelling methods of engineering analysis problems]: navchal'nyy posibnyk. Kharkiv: KhNADU, 2019. 112 s. [in Ukraine].
  16. Rogovyi A., Korohodskyi V., Medvediev Y. (2021). Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. Energy, 218, 119432. [in English].
  17. Chernetskaya-Beletskaya, N., Rogovyi, A., Baranov, I., Krut, A., Miroshnikova, M., & Bragin, N. (2019). Increasing the efficiency of highly concentrated coal-water fuel based on the simulation of non-Newtonian fluid flow. In MATEC Web of Conferences, 294, 01009. [in English].

**Кириченко І.Г.**<sup>1</sup>, д.т.н., професор,  
тел. +380(67) 705-54-74, [igk160450@gmail.com](mailto:igk160450@gmail.com) ,  
**Черніков О.В.**<sup>1</sup>, д.т.н., професор,  
тел. +380(67) 578-23-12, [cherni@khadi.kharkov.ua](mailto:cherni@khadi.kharkov.ua) ,  
**Роговий А.С.**<sup>2</sup>, д.т.н., професор,  
тел. +380(57) 707-66-46, [asrogovoy@ukr.net](mailto:asrogovoy@ukr.net) ,  
**Рагулін В.М.**<sup>1</sup>, к.т.н.,  
тел. +380(50) 545-80-70, [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net) ,  
**Резніков О.О.**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
тел. +380(66) 657-81-41, [ssr.sdm@gmail.com](mailto:ssr.sdm@gmail.com) ,  
**Табуров О.С.**<sup>1</sup>, магістр,  
тел. +380(99) 629-47-72, [alextaburov@gmail.com](mailto:alextaburov@gmail.com) .

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків.

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків.

### Study of lifting platforms using three-dimensional computer-aided modeling

**Abstract. Problem.** In the modern world, an aerial platform (auto-hydraulic lift) is an integral part of a rich model range of special crane equipment. The first primitive lift consisted of a lever, hinged on the base. A traction rope was placed on one side of the lever, and a counterweight on the other. With the help of his own physical strength, a person was able to rise to a small height using such a simple lifting mechanism. Currently, many types of lifts are used, which differ in height characteristics and the design of the lifting mechanism. **Goal.** The aim of this work is to study the kinematics of the moving elements of a hydraulic lift using a virtual model created on the basis of the Autodesk Inventor Professional software package. The model is based on an existing physical object. To study the kinematics of individual units and the installation as a whole, we use the method of modeling individual units and units of a machine, collecting them into a single mechanism with the task of all possible movements of structural elements in the Inventor package. **Methodology.** The assigned tasks can be solved by special design tools that are included in the software product, namely the environment for dynamic modeling, stress analysis. These tools are accessed while working in the "Assembly" environment, using the ribbon tabs "Design" and "Environments". **The results** of further research will be presented in future publications.

**Key words:** computer simulation, lifting platform, Autodesk Inventor, ANSYS.

**Kyrychenko I.H.**<sup>1</sup>, Doct. of Science, Professor,  
tel.: +380(67) 705-54-74, [igk160450@gmail.com](mailto:igk160450@gmail.com) ,  
**Chernikov O.V.**<sup>1</sup>, Doct. of Science, Professor,  
tel.: +380(67) 578-23-12, [cherni@khadi.kharkov.ua](mailto:cherni@khadi.kharkov.ua) ,  
**Rogovyi A.S.**<sup>2</sup>, Doct. of Science, Professor,  
tel.: +380(57) 707-66-46, [asrogovoy@ukr.net](mailto:asrogovoy@ukr.net) ,  
**Ragulin V.M.**<sup>1</sup>, Cand. of Science,  
tel.: +380(50) 545-80-70, [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net) ,  
**Reznikov O.O.**<sup>1</sup>, Cand. of Science, Docent,  
tel.: +380(66) 657-81-41, [ssr.sdm@gmail.com](mailto:ssr.sdm@gmail.com) ,  
**Taburov O.S.**<sup>1</sup>, Magistr,  
tel.: +380(99) 629-47-72, [alextaburov@gmail.com](mailto:alextaburov@gmail.com) .

<sup>1</sup> Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho str., Kharkiv, 61002.

<sup>2</sup> National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2 Kyrpychova str., Kharkiv, 61002.